

## Bezeichnung der Erfindung

- 5    Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors

## Beschreibung

10

## Gebiet der Erfindung

- Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, insbesondere nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.
- 15

## Hintergrund der Erfindung

- 20    Ein Nockenwellenversteller dient der exakten Einhaltung eines Sollwinkelverlaufs des Verstellwinkels der Nockenwelle. Bedingt durch Störgrößen wie Schwankungen des Antriebsmoments der Nockenwelle kommt es im praktischen Motorbetrieb zu Abweichungen zwischen Sollwinkel- und Istwinkelverlauf. Eine Verringerung dieser Abweichungen kann zur Verringerung von Schadstoffemission und Kraftstoffverbrauch, zur Steigerung von Motorleistung und Drehmoment sowie zur Absenkung der Bordnetzbelastung beim Motorstart und der Motordrehzahl im niedrigen Leerlauf führen. Besonders wichtig ist die Einhaltung des optimalen Verstellwinkels beim Motorstart, um die hohe Schadstoffemission in diesem Betriebszustand zu senken.
- 25
- 30    In der DE 43 17 527 A1 ist ein Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  einer Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors offenbart, der einen hydraulischen Nockenwellenversteller mit einem elektroni-

schen Regler und Mittel zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle gegenüber der Kurbelwelle aufweist.

Bei diesem System wird zur Regelung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle  
5 die Drehzahl und Drehwinkellage der Kurbel- und Nockenwelle erfasst. Dazu dienen Triggerräder die an der Kurbel- und Nockenwelle befestigt sind. Je ein Sensor erfasst die jeweiligen Referenz- und Triggermarken, die in dem elektronischen Regler zur Bestimmung von Drehzahl und Drehwinkellage der Wellen und zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  dienen.

10

Nachteilig an dieser Lösung sind der erforderliche Aufwand und die unzureichende Genauigkeit der Signalerfassung sowie die bei hydraulischen Nockenwellenverstellern relativ langsame, ungenaue und nur im normalen Motorbetrieb mögliche Verstellung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$ .

15

### Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zu Grunde, eine Möglichkeit zu schaffen, den Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  zwischen einer Nockenwelle und der Kurbelwelle  
20 eines Verbrennungsmotors mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit zu bestimmen.

### Zusammenfassung der Erfindung

25 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Vorrichtungsanspruchs 1 gelöst.

Der elektromechanische Nockenwellenversteller bietet gegenüber hydraulischen Nockenwellenverstellern den Vorteil einer raschen und exakten Verstellung und Fixierung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle. Das gilt für den  
30 gesamten Betriebsbereich des Verbrennungsmotors einschließlich der Anlassphase.

Der BLDC-Motor arbeitet mit elektronischer Kommutierung, so dass die Reibung und der Verschleiß von Bürsten und Kommutator entfallen. Das geringe Trägheitsmoment und das hohe Drehmoment des Dauermagnetrotors ermöglichen eine hohe Verstellgeschwindigkeit des BLDC-Motors.

5

Die elektronische Kommutierung erfolgt mittels Kommutierungssignalen, die durch die Drehbewegung des Dauermagnetrotors in Sensoren erzeugt und in einem Kommutierungsrechner verarbeitet werden. Dabei ist ein Sensor für jede der drei Phasen des Stators erforderlich.

10

Die Kommutierungssignale eignen sich auch zur Bestimmung der Drehwinkel-lage der Nockenwelle und zusammen mit den Referenz- und Triggermarken-signalen des Kurbelwellentriggerrads zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\phi$  der Nockenwelle. Auf diese Weise erübrigen sich das sonst erforderliche Trig-

15 gerrad der Nockenwelle und dessen Sensor. Dadurch werden Kosten, Bau-  
raum und Gewicht eingespart.

Als Sensoren zur Erzeugung der Kommutierungssignale kommen an sich be-  
kannte Hall- und Reluktanzsensoren oder optische, induktive oder kapazitive

20 Sensoren in Frage.

Besonders vorteilhaft ist die Erzeugung der Kommutierungssignale durch  
Selbstinduktion in den drei Phasen des Stators. Der dadurch ermöglichte Fort-  
fall der Sensoren vermindert die Kosten und die Störanfälligkeit insbesondere

25 als Folge der hohen Temperatur des BLDC-Motors.

Der Bauraumbedarf der Sensoren und deren Bauaufwand werden dadurch  
gesenkt, dass diese in Bauteilen des BLDC-Motors einbaubar sind, die mit Ro-  
tordrehzahl umlaufen, wie z. B. Lager- oder Dichtringe.

30

Ein problemloser Start und Hochlauf des Verbrennungsmotors ist dadurch ge-  
währleistet, dass ein RAM bzw. ein EPROM in einem Steuergerät oder ein akti-  
ver, speicherfähiger Hallsensor vorgesehen sind, die die Zähler und damit die

Position der Nockenwelle im Stillstand oder beim Anlassen des Verbrennungsmotors speichern bzw. erkennbar machen.

- Die aktiven Hallsensoren reagieren bereits bei angelegter Spannung auf Nord- bzw. Südpol und erkennen so die Position der Nockenwelle unmittelbar nach Betätigung des Zündschlosses bzw. beim Anlassen des Verbrennungsmotors. Auf diese Weise kann ein Verstellen oder Halten der Sollverstellposition auch beim Anlassvorgang des Verbrennungsmotors erfolgen.
- 10 Die in den Speichern abgelegten Zählerdaten lassen die Position der Nockenwelle sogar schon bei Motorstillstand erkennen und korrigieren. In beiden Fällen werden Kraftstoffverbrauch und Schadstoffemission in der kritischen Startphase minimiert.
- 15 Im Allgemeinen geht beim Abstellen des Verbrennungsmotors die Winkellageninformation verloren. Dann muss beim Motorstart der Rotor zur Kurbelwelle erneut synchronisiert werden. Registriert der Kurbelwellensensor ein eindeutig identifizierbares Ereignis, beispielsweise einen fehlenden Zahn am Anlasserzahnkranz, so wird die Lage der Kurbelwelle zu einem festen Bezugspunkt, zum Beispiel zum oberen Totpunkt des ersten Zylinders erkannt. Kommt ein Zahn des Triggerrades der Nockenwelle am Nockenwellensensor vorbei so wird die Position der Nockenwelle zu einem Nocken, zum Beispiel dem maximalen Hub des ersten Nockens, eindeutig erkannt. Aus der verstrichenen Zeit zwischen dem Ereignis "fehlender Zahn an Kurbelwelle" und dem Ereignis "Triggerradzahn Nockenwelle kommt an Nockenwellensensor vorbei" kann man die Winkellage der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle bestimmen. Die verstrichene Zeit ermittelt das Steuergerät aus den gesetzten "Zeitmarken" zu den Ereignissen. Die Zeitmarken werden über einen hochfrequent schwingenden Oszillatorquarz gesetzt bzw. erzeugt. Über die Getriebegrundgleichung ist spätestens zu diesem Zeitpunkt die Rotorlage eindeutig bestimmbar.
- 30 Eine zweite Art der Synchronisierung kann man dadurch erreichen, dass der Versteller auf den mechanischen Endanschlag fährt. Wird diese Position erreicht, so ist die Position der Nockenwelle relativ zur Kurbelwelle und damit

über die Dreiwelengleichung auch die Rotorposition bekannt. Dies funktioniert hierbei sogar ohne Nockenwellensensor. Nachteilig an dieser Art der Synchronisation ist der Einfluss der Steuertriebdehnung durch Temperaturänderung, und/oder Alterung des Riemens bzw. Längung der Steuerkette auf die Genauigkeit der Erfassung der Nockenwellenposition.

Es kann sein, dass an Stelle des Zahnkranzes an der KW ein sogenannter Resolver oder ein dem Resolver funktionsgleiches Bauteil angebracht wird. Der Resolver ist im Prinzip ein hochauflösender Drehgeber, der die Winkel- bzw. Drehzahlerfassung des Kurbelwellensignals ermöglicht.

An Stelle der drei Hallgeber bzw. der genannten Alternativsensoren kann ein Resolver als Basis zur Kommutierung des BLDC-Motors verwendet werden. Dieser kann während einer Umdrehung des Rotors nicht nur eine Signalfrequenz von 'Anzahl Hallsensoren x Polzahl' sondern eine wesentlich höhere Auflösung erreichen. Die Resolverfunktion kann gleichermaßen in die bereits erwähnten Bauelemente "Sensorlager" oder "Sensordichtring" integriert werden.

Die Aufgabe der Erfindung wird auch durch die Merkmale des Verfahrensanspruchs 5 gelöst. Die additive und multiplikative Verknüpfung der Kommutierungs- und Triggersignale bietet einen unaufwändigen Weg zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$ .

Eine vorteilhafte Ausbildung der Erfindung besteht darin, dass der Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  aufgrund der folgenden zählerbasierten Beziehung berechnet wird:

$$\Delta\Phi = \left( \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \times \frac{1}{2} - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallsignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \right) \times \frac{360}{i}$$

Dabei bedeuten:

$\text{Anzahl}_{\text{Hallsignale}}$  = Anzahl der Signale eines Hallsensors, die sich aus dem Quotienten der Anzahl der Signale aller Hallsensoren und der Anzahl der Hallsensoren ergibt

Anzahl<sub>Magnetpole</sub> = Anzahl der Magnetpole des Dauermagnetrotors;

Anzahl<sub>Referenzmarke</sub> = Anzahl der Referenzmarken des Kurbelwellentriggerrads;

5

Gesamtzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der Triggermarken auf dem Kurbelwellentriggerrad;

Anzahl<sub>Trigger</sub> = Anzahl der gezählten Triggermarken seit der letzten Referenzmarke;

10

i = Getriebeübersetzung zwischen Verstellwelle und Nockenwelle bei festgehaltenem Kettenrad.

15 Von Vorteil ist, dass die nach Durchlaufen einer Referenzmarke ermittelten Triggermarkensignale nach Erreichen der nächsten Referenzmarke gelöscht werden. Auf diese Weise wird vermieden, dass es aufgrund von Zählerfehlern zu Verstellfehlern kommt. Außerdem wird so die erforderliche Größe der Speicher begrenzt.

20 Eine vorteilhafte Weiterentwicklung der Erfindung besteht darin, dass eine Drehrichtungsänderung des BLDC-Motors durch Auswertung der dabei auftretenden Änderung der Kommutierungssignale ermittelt wird, wozu diese differenziert werden und das Differenzial der Kommutierungssignale eines der drei Hallsensoren mit dem Status (High/Low) der Differenziale der Kommutierungssignale der beiden anderen Hallsensoren kombiniert wird. Auf diese Weise  
25 wird eine Drehrichtungsänderung durch entsprechende Software erkannt.

Die zeitbasierte Bestimmung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  nach der Beziehung

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{kw} \div 2 - n_{vw})}{i} \times dt$$

30 benötigt erheblich weniger Speicherplätze als die zählerbasierte.

Von Vorteil für eine schnelle und exakte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  ist auch, dass die zähler- und die zeitbasierte Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  kombinierbar sind.

Dadurch, dass die Nockenwelle bei zähler- und zeitbasierter Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  in regelmäßigen Abständen eine Referenzposition, beispielsweise eine Basisposition mit mechanischem Anschlag, anfährt oder sich zu einer Flanke des Nockenwellentriggerrades synchronisiert, um die Zähler zu Nullen, wird eine exakte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  bei verringerter Speichergröße sichergestellt.

Eine Einsparung von Speicherplätzen und Rechnerkapazität wird auch dadurch erreicht, dass bei ganzzahligem Verhältnis der Kurbelwellensignale zu mindestens einem Sensorsignal der Verstellwelle die Phasenlage der Nockenwelle zur Kurbelwelle durch Auswertung der Differenz dieser Signale in einem Positionsregler bestimmt wird, der vorzugsweise mit aufgeschalteter Nockenwellen- oder Kurbelwellendrehzahl arbeitet. Solange am Verstellgetriebe keine Verstellung erfolgt, läuft dieses als Ganzes um, so dass die Drehzahldifferenz Null ergeben muss. Erfolgt eine Verstellung durch das Verstellgetriebe, ergibt sich eine Differenz zwischen den Verstellwellensignalen und den Kurbelwellensignalen. Da das Getriebe in seinen Übersetzungen fest liegt, kann jeder Signaldifferenz eine eindeutige Phasenlage der Nockenwelle zugeordnet werden. Somit erfordert das Arbeiten mit der Signaldifferenz anstelle der Summe der Einzelsignale eine geringere Speicherkapazität und Rechenleistung. Das Nockenwellensignal kann zusätzlich zur Erhöhung der Auflösung der Phasenlage bzw. zur Plausibilisierung der Phasenlage erfasst und rechnerisch verarbeitet werden.

Vorteilhaft ist auch, dass die Nockenwelle nach Abstellen der Zündung und beim Auslaufen des Verbrennungsmotors durch einen nachlaufenden BLDC-Motor bzw. durch einen Steuergeräte-Nachlauf in jede gewünschte Position verstellbar ist. Auf diese Weise entfällt beim Motorstart der Zeitverlust durch Anfahren des gewünschten Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  der Nockenwelle, so dass ein sofortiger Start mit dem optimalen Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  gewährleistet ist.

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und der Zeichnung, in der ein Ausführungsbeispiel der Erfindung schematisch dargestellt ist.

Die Zeichnung zeigt dabei einen elektromechanischen Nockenwellenversteller mit einem als Dreiwellengetriebe ausgebildeten Verstellgetriebe und einem elektrischen Verstellmotor.

### Ausführliche Beschreibung der Zeichnung

Die einzige Zeichnung zeigt den Grundaufbau eines elektromechanischen Nockenwellenverstellers, bei dem die erfindungsgemäße Lösung zum Einsatz gelangt.

Eine Verbindung der Nockenwelle 5 mit einer nicht dargestellten Kurbelwelle erfolgt über ein dreiwelliges Verstellgetriebe 1. Die erste Welle 3 des Verstellgetriebes 1 ist mit der Nockenwelle 5 verdrehfest verbunden, die zweite Welle 4 über ein Nockenwellenantriebsrad 7 mittels Kette oder Zahnriemen mit der Kurbelwelle und als dritte Welle eine Verstellwelle 6 mit einem Dauermagnetrotor 8 eines als BLDC-Motor 2 (bürstenloser Gleichstrommotor) ausgebildeten Verstellmotors. Ein Stator 9 desselben ist mit einem Gehäuse 10 des Verbrennungsmotors fest verbunden. Der Stator ist dreiphasig ausgebildet.

Der BLDC-Motor 2 wird über Kommutierungssignale elektronisch kommutiert. Die Kommutierungssignale werden durch die Drehbewegung des Dauermagnetrotors 8 in drei Hallsensoren gebildet, die den drei Phasen des Stators 9 zugeordnet sind.

Der Dauermagnetrotor 8 ist am Umfang mehrpolig magnetisiert. Bei jeder Umdrehung gibt ein bipolarer Hallsensor pro Pol ein Signal aus, d. h. bei einem



achtpoligen Magneten acht Signale. Bei unipolaren Hallsensoren wird nur die halbe Anzahl an Signalen ausgegeben.

Da die Nockenwelle 5 über das Dreiwellengetriebe 1 mit dem BLDC-Motor 2 in direkter Verbindung steht, kann die Lage der Nockenwelle 5 mit den Hallsensoren bzw. deren Kommutierungssignalen wie folgt bestimmt werden:

Die Drehzahlgleichung eines Dreiwellengetriebes lautet wie folgt:

$$n_{VW} - n_{NW} \times i + n_{Kette} \times (i - 1) = 0 \quad (1)$$

wobei

$n_{NW}$  = Drehzahl Nockenwelle 5

$n_{Kette}$  = Drehzahl Nockenwellenantriebsrad 7

$n_{VW}$  = Drehzahl Verstellwelle 6

$$i = \text{Getriebeübersetzung}$$

bedeutet.

In Winkeln ausgedrückt gilt:

$$\Phi_{VW} - \Phi_{NW} \times i + \Phi_{Kette} \times (i - 1) = 0 \quad (2)$$

mit:

$\Phi_{NW}$  = zurückgelegter Winkel Nockenwelle 5;

$\Phi_{Kette}$  = zurückgelegter Winkel Nockenwellenantriebsrad 7;

$\Phi_{VW}$  = zurückgelegter Winkel Verstellwelle 6.

25

Für den Verstellwinkel gilt:

$$\Delta\Phi = \Phi_{Kette} - \Phi_{Nockenwelle} \quad (3)$$

30 (2) in (3) ergibt:

$$\Delta\Phi = (\Phi_{Kette} - \Phi_{VW}) \div i \quad (4)$$

Für die zurückgelegten Winkel der einzelnen Wellen gilt:

$$\Phi = U \times 360^\circ \quad (5)$$

mit:

$U$  = Anzahl der Umdrehungen der jeweiligen Welle.

5 (5) in (4) ergibt:

$$\Delta\Phi = (U_{\text{Kette}} - U_{\text{VW}}) \times 360^\circ \div i \quad (6)$$

Die Anzahl der Umdrehungen des Verstellmotors kann direkt aus der Anzahl der Hallsignale eines Hallsensors wie folgt berechnet werden:

$$U_{\text{VW}} = \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallsignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \quad (7)$$

Die Anzahl der Hallsignale ergibt sich dabei aus dem Quotienten der Anzahl der Signale aller Hallsensoren und der Anzahl der Hallsensoren.

An einem nicht dargestellten Kurbelwellentriggerrad befindet sich zur Erkennung des Zylinders 1 eine Referenzmarke, mit der die Anzahl der Umdrehungen des Nockenwellenantriebsrades 7 ermittelt werden kann:

$$U_{\text{Kette}} = \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtanzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \div 2 \quad (8)$$

mit:

$\text{Gesamtanzahl}_{\text{Trigger}}$  = Anzahl der Triggermarken auf dem Kurbelwellentriggerrad

$\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}$  = Anzahl der ermittelten Triggermarken seit der letzten Referenzmarke.

Die Anzahl der ermittelten Triggermarken wird nach dem Erreichen einer neuen Referenzmarke wieder genullt.

Mit (7) und (8) in (6) kann der Verstellwinkel  $\Delta\Phi$  direkt aus der Anzahl der Hallsignale und der Anzahl der Referenz- und Triggermarkensignale des Kurbelwellentriggerrads ermittelt werden:

$$\Delta\Phi = \left[ \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Trigger}}}{\text{Gesamtanzahl}_{\text{Trigger}}} \right) \div 2 - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallssignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpol}} \right] \times \frac{360^\circ}{i} \quad (9)$$

Zum Regeln des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  werden sowohl die Hallssignale des BLDC-  
 5 Motors 2 als auch die Referenz- und Triggermarkensignale des Kurbelwellen-  
 triggerrads aufaddiert. Über die Gleichung (9) lässt sich somit immer die aktuel-  
 le Position der Nockenwelle 5 bestimmen.

Um zu vermeiden, dass es aufgrund von Zählfehlern zu Verstellfehlern kommt,  
 10 werden in regelmäßigen Abständen und bei geeigneten Fahrzuständen die  
 Nockenwelle 5 in eine Referenzposition, z. B. eine Basisposition mit mechani-  
 schem Anschlag gefahren, die Zähler genullt und wieder mit dem Aufaddieren  
 begonnen. Obwohl durch das Hochzählen mit sehr großen Zahlen gerechnet  
 wird, werden durch das Nullen Speicherplätze gespart.

15 Über die Hallsensoren wird auch die Drehrichtung des BLDC-Motors ermittelt,  
 da sich diese je nach Verstellrichtung ändern kann. In diesem Fall werden die  
 Hallssignale vom Zähler subtrahiert.

20 Die Drehrichtung kann durch Auswertung der Reihenfolge der Signale der drei  
 Hallsensoren ermittelt werden. Eine Erkennung ist jeweils dann möglich, wenn  
 sich eines der Hallssignale ändert. Um dies zu erkennen werden die Signale der  
 Hallsensoren ABC differenziert. Die Drehrichtung kann ermittelt werden, wenn  
 das Differenzial mit dem Status (High/Low) eines anderen Signals kombiniert wird.

25 Beim Abstellen des Verbrennungsmotors werden die Zähler in einen RAM bzw.  
 EPROM des Steuergeräts gespeichert, so dass beim Motorstart sofort bekannt  
 ist, in welcher Position die Nockenwelle steht. Des Weiteren ist es von Vorteil,  
 aktive, speicherfähige Hallsensoren zu verwenden, die bereits bei angelegter  
 30 Spannung auf Nord- bzw. Südpol reagieren.

Da die Position der Nockenwelle 5 insbesondere bei Verwendung eines aktiven, speicherfähigen Hallsensors unmittelbar nach Betätigung des Zündschlosses bzw. bei Drehbeginn von Kurbel- und Nockenwelle 5 erkannt werden, kann ein Verstellen und Halten der Sollverstellposition auch beim Startvorgang des Verbrennungsmotors erfolgen. Dies ist wegen der damit verbundenen Reduzierung von Brennstoffverbrauch und Abgasemission vorteilhaft. Im gleichen Maße kann auch jede gewünschte Verstellposition während des Abstellens des Fahrzeugs nach Drehen des Zündschlüssels angefahren werden. Dies wird durch einen aktiven Nachlauf des BLDC-Motors 2 bzw. des Steuergerätes erreicht. Vorteilhaft ist hier die Vermeidung des Zeitverlusts beim Anfahren des gewünschten Verdrehwinkels beim Motorstart.

Da für die zuvor beschriebene zählerbasierte Variante der Verdrehwinkelbestimmung sehr viel Speicherplatz benötigt wird, ist nachfolgend eine Variante beschrieben, die auf einer zeitbasierten Ermittlung des Verdrehwinkels beruht.

Bei der zeitbasierten Variante erfolgt die Verdrehwinkelermittlung über die Drehzahldifferenz zwischen Kurbelwelle und Verstellwelle 6.

Die Drehzahl der Kurbelwelle wird ermittelt, indem man die Zeit bestimmt, die zwischen zwei oder mehr Kurbelwellentriggermarken vergeht. Da die Triggermarken einen festen Winkel zueinander haben ergibt sich die Geschwindigkeit:

$$n_{KW} = \Delta\Phi_{\text{Triggermarken}} \div \Delta t$$

mit:

$n_{KW}$  = Kurbelwellendrehzahl;

$\Delta\Phi_{\text{Triggermarken}}$  = Winkel zwischen zwei oder mehr Kurbelwellentriggermarken;

$\Delta t$  = Zeit, die zwischen zwei oder mehr Triggermarken vergeht.

Die Drehzahl des BLDC-Motors 2 kann durch die Zeit bestimmt werden, die zwischen zwei oder mehr Signalen auf der Verstellwelle vergeht.

$$n_{VW} = \Delta\Phi_{\text{Magnetpole}} \div (\Delta t' \times k)$$

mit:

$\Delta\Phi_{\text{Magnetpole}}$  = Winkel zwischen zwei Magnetpolen;

$\Delta t'$  = Zeit, die zwischen zwei Signalen auf der Verstellwelle vergeht;

K = Konstante, die Anzahl von Sensorsignalen zwischen zwei Magnetpolen beinhaltet.

5

Der Verstellwinkel lässt sich wie folgt bestimmen:

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{kw} \div 2 - n_{vw})}{i} \times dt$$

10

Auch bei der zeitbasierten Verdrehwinkelermittlung ist ein Anfahren einer Referenzmarke zum Nullen des Systems denkbar. Es ist aber auch denkbar, dass die Synchronisierung zwischen der Kurbelwelle, der Verstellwelle und der Nockenwelle in der oben bereits beschriebenen Art erfolgt. Ebenso ist auch eine

15 Kombination aus zähler- und zeitbasierter Verdrehwinkelermittlung möglich.

**Bezugszeichenliste**

	1	Dreiwellengetriebe
5	2	BLDC-Motor
	3	Erste Welle
	4	Zweite Welle
	5	Nockenwelle
	6	Verstellwelle
10	7	Nockenwellenantriebsrad
	8	Dauermagnetrotor
	9	Stator
	10	Gehäuse

### Patentansprüche

5

1. Vorrichtung zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen zwei Wellen, insbesondere zwischen einer Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, der einen Nockenwellenversteller mit einem elektronischen Regler und Mittel zur Bestimmung der Drehwinkellage der  
10 Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Kurbelwelle zur Bestimmung der Drehwinkellage der Kurbelwelle ein Kurbelwellentriggerrad mit Referenz- und Triggermarken befestigt ist und dass ein elektromechanischer Nockenwellenversteller vorgesehen ist, der ein Dreiwellengetriebe (1) aufweist, dessen erste Welle (3) mit der  
15 Nockenwelle (5), dessen zweite Welle (4) über ein Nockenwellenantriebsrad (7) mit der Kurbelwelle und dessen dritte Welle als Verstellwelle (6) mit einem Dauermagnetrotor (8) eines BLDC-Motors (2) drehfest verbunden sind, wobei der BLDC-Motor (2) einen gehäusefesten Stator (9) mit vorzugsweise drei Phasen und eine elektronische Kommutierung aufweist, die  
20 durch Kommutierungssignale gesteuert ist, die gleichzeitig zur Bestimmung der Drehwinkellage der Nockenwelle (5) und zusammen mit den Signalen des Kurbelwellentriggerrads zur Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen Nockenwelle (5) und Kurbelwelle dienen.
- 25 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kurbelwellentriggerrad als Zahnkranz oder Resolver ausgebildet ist und dass die Kommutierungssignale durch Hall- oder Reluktanzsensoren, durch optische, induktive oder kapazitive Sensoren oder sensorlos durch Selbstinduktion in den Phasen des Stators (9) erzeugbar sind.
- 30 3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoren in Bauteilen des BLDC-Motors (2) einbaubar sind, die mit Rotordrehzahl umlaufen, wie z. B. Lager- oder Dichtringe.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein RAM bzw. ein EPROM in einem Steuergerät oder ein aktiver, speicherfähiger Hallsensor vorgesehen sind, die die Zähler und damit die Position der Nockenwelle (5) im Stillstand oder beim Anlassen des Verbrennungsmotors speichern bzw. erkennbar machen.
5. Verfahren zum Bestimmen des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  zwischen einer Nockenwelle (5) und der Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, insbesondere unter Verwendung der Merkmale des unabhängigen Vorrichtungsanspruchs 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdrehwinkel  $\Delta\Phi$  durch additive und multiplikative Verknüpfungen der Kommutierungs- und Triggerradssignale berechnet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zählerbasierte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  unter Verwendung der Kommutierungssignale von Hallsensoren auf folgender Beziehung beruht:

$$\Delta\Phi = \left[ \left( \text{Anzahl}_{\text{Referenzmarke}} + \frac{\text{Anzahl}_{\text{Triggermarke}}}{\text{Gesamtzahl}_{\text{Triggermarken}}} \right) \times \frac{1}{2} - \frac{\text{Anzahl}_{\text{Hallsignale}}}{\text{Anzahl}_{\text{Magnetpole}}} \right] \times \frac{360}{i}$$

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die nach Durchlaufen einer Referenzmarke ermittelten Triggermarkensignale nach Erreichen der nächsten Referenzmarke gelöscht werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drehrichtungsänderung des BLDC-Motors (2) durch Auswertung der dabei auftretenden Änderung der Kommutierungssignale ermittelt wird, wozu diese differenziert werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Differential der Kommutierungssignale eines der drei Hallsensoren mit dem Status



(High/Low) der Differenziale der beiden anderen Kommutationssignale kombiniert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zeitba-  
5 sierte Berechnung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  auf der folgenden Beziehung  
beruht:

$$\Delta\Phi = \int \frac{(n_{KW} \div 2 - n_{vw})}{i} \times dt, \text{ wobei}$$

$n_{KW}$  = Kurbelwellendrehzahl;

$n_{vw}$  = Drehzahl des BLDC-Motors (2) und

- 10  $i$  = Getriebeübersetzung zwischen der Verstellwelle (6) und der Nockenwelle  
(5) bei stillstehendem Antriebsrad (7) bedeuten.

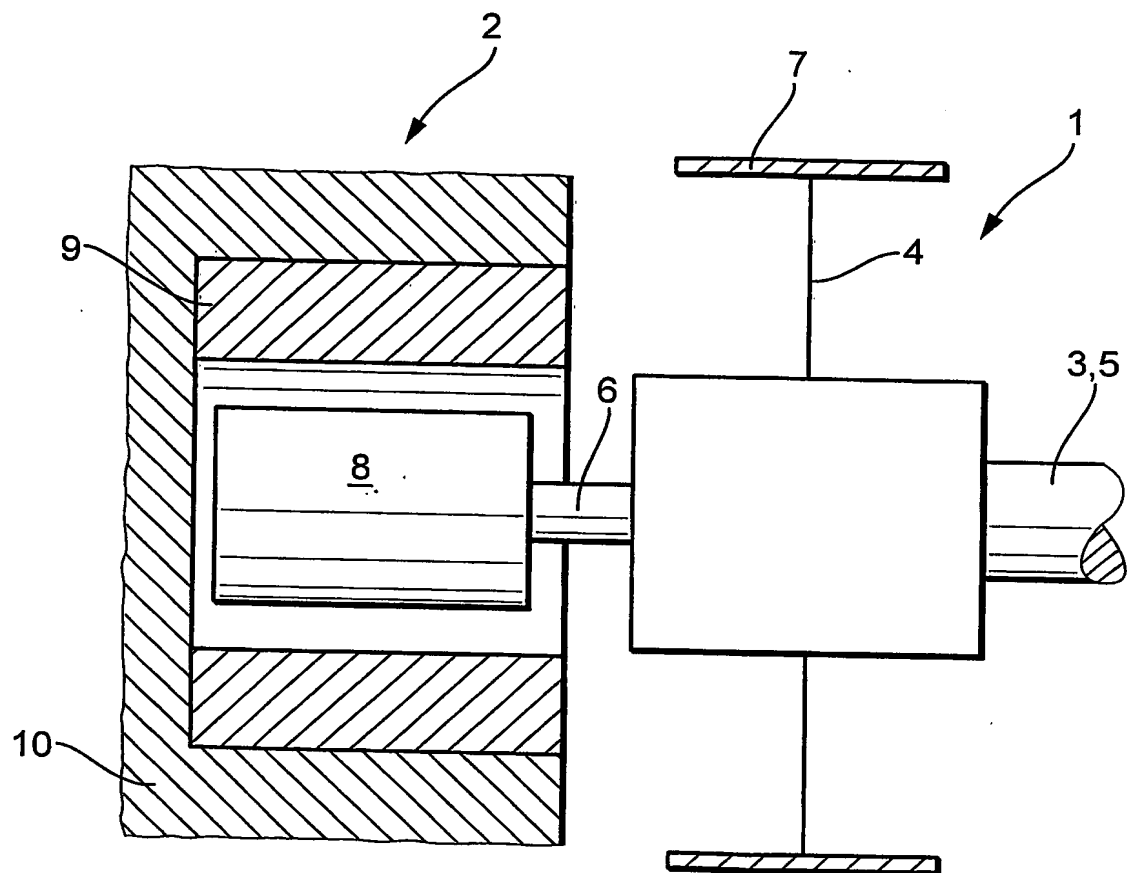
11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zähler-  
und die zeitbasierte Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  miteinander kombi-  
15 nierbar sind.

12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Nocken-  
welle (5) bei zähler- und zeitbasierter Ermittlung des Verdrehwinkels  $\Delta\Phi$  in  
regelmäßigen Abständen eine Referenzposition, beispielsweise eine Ba-  
20 sisposition mit mechanischem Anschlag anfährt, um die Zähler zu Nullen.

13. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei ganz-  
zahligem Verhältnis der Kurbelwellen- und Nockenwellensignale die Pha-  
senlage der Nockenwelle zur Kurbelwelle durch Auswertung der Differenz  
25 dieser Signale in einem Positionsregler bestimmt wird, der vorzugsweise  
mit aufgeschalteter Nockenwellen- oder Kurbelwellendrehzahl arbeitet

14. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die No-  
ckenwelle (5) nach Abstellen der Zündung und beim Auslaufen des Ver-  
brennungsmotors durch einen nachlaufenden BLDC-Motor (2) bzw. durch  
30 einen Steuergeräte-Nachlauf in jede gewünschte Position verstellbar ist.

1/1



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/006144

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F01L1/34 F01L1/344 F01L1/352

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages.	Relevant to claim No.
X	EP 0 918 142 A (MAZDA MOTOR CORPORATION) 26 May 1999 (1999-05-26) paragraphs '0023!', '0029!' - '0032!', '0035!', '0040!', '0041!', '0078!', '0087!; figures	1,2
A	US 3 978 829 A (TAKAHASHI KOICHI ET AL) 7 September 1976 (1976-09-07) column 1, line 54 - column 2, line 21 column 6, line 67 - column 7, line 9 column 13, line 43 - column 17, line 6 figures	1,5
A	DE 41 10 195 A (SCHAEFFLER WAEHLZLAGER KG) 1 October 1992 (1992-10-01) the whole document	1,5
	----- -/-- -----	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2004

Date of mailing of the international search report

10/12/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Klinger, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/006144

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 505 587 B1 (SCHEIDT MARTIN) 14 January 2003 (2003-01-14) the whole document -----	1
P,X	DE 102 20 687 A (INA SCHAEFFLER KG) 20 November 2003 (2003-11-20) the whole document -----	1
A	US 6 249 096 B1 (SHIN HYUN-ICK) 19 June 2001 (2001-06-19) the whole document -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/006144

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0918142	A	26-05-1999	JP	11153008 A	08-06-1999
			JP	11280422 A	12-10-1999
			DE	69818946 D1	20-11-2003
			DE	69818946 T2	13-05-2004
			EP	0918142 A2	26-05-1999
			US	6129061 A	10-10-2000
US 3978829	A	07-09-1976	JP	50155822 A	16-12-1975
			DE	2525746 A1	02-01-1976
			GB	1509413 A	04-05-1978
DE 4110195	A	01-10-1992	DE	4110195 A1	01-10-1992
US 6505587	B1	09-01-2003	DE	10116707 A1	10-10-2002
			US	2003005899 A1	09-01-2003
DE 10220687	A	20-11-2003	DE	10220687 A1	20-11-2003
			WO	03095803 A1	20-11-2003
US 6249096	B1	19-06-2001	KR	2000032160 A	05-06-2000

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006144

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F01L1/34 F01L1/344 F01L1/352

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)  
EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 918 142 A (MAZDA MOTOR CORPORATION) 26. Mai 1999 (1999-05-26) Absätze '0023!', '0029!' - '0032!', '0035!', '0040!', '0041!', '0078!', '0087!'; Abbildungen	1,2
A	US 3 978 829 A (TAKAHASHI KOICHI ET AL) 7. September 1976 (1976-09-07) Spalte 1, Zeile 54 - Spalte 2, Zeile 21 Spalte 6, Zeile 67 - Spalte 7, Zeile 9 Spalte 13, Zeile 43 - Spalte 17, Zeile 6 Abbildungen	1,5
A	DE 41 10 195 A (SCHAEFFLER WAEHLZLAGER KG) 1. Oktober 1992 (1992-10-01) das ganze Dokument	1,5
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

29. November 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/12/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Klinger, T

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006144

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 505 587 B1 (SCHEIDT MARTIN) 14. Januar 2003 (2003-01-14) das ganze Dokument -----	1
P,X	DE 102 20 687 A (INA SCHAEFFLER KG) 20. November 2003 (2003-11-20) das ganze Dokument -----	1
A	US 6 249 096 B1 (SHIN HYUN-ICK) 19. Juni 2001 (2001-06-19) das ganze Dokument -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006144

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0918142	A	26-05-1999	JP 11153008 A	08-06-1999
			JP 11280422 A	12-10-1999
			DE 69818946 D1	20-11-2003
			DE 69818946 T2	13-05-2004
			EP 0918142 A2	26-05-1999
			US 6129061 A	10-10-2000
US 3978829	A	07-09-1976	JP 50155822 A	16-12-1975
			DE 2525746 A1	02-01-1976
			GB 1509413 A	04-05-1978
DE 4110195	A	01-10-1992	DE 4110195 A1	01-10-1992
US 6505587	B1	09-01-2003	DE 10116707 A1	10-10-2002
			US 2003005899 A1	09-01-2003
DE 10220687	A	20-11-2003	DE 10220687 A1	20-11-2003
			WO 03095803 A1	20-11-2003
US 6249096	B1	19-06-2001	KR 2000032160 A	05-06-2000